

浙江工程学院学报, 第 19 卷, 第 3 期, 2002 年 9 月  
Journal of Zhejiang Institute of Science and Technology  
Vol. 19, No. 3, Sep. 2002

文章编号: 1009-4741 (2002) 03-0145-04

# 玻璃纤维 3D 机织物增强复合材料板材 的研制与其拉伸性能研究

汪 蔚<sup>1</sup>, 祝成炎<sup>2</sup>

(1. 嘉兴学院服装与艺术系, 浙江嘉兴 314000; 2. 浙江工程学院, 浙江杭州 310033)

**摘要:** 以玻璃纤维为原料, 试织成功了几种结构的 3D 机织物, 并用 6101 环氧树脂作基体, 650 聚酰胺树脂作固化剂, 采用手糊成型工艺制得了各种结构的复合材料板材, 对各种结构的复合材料板材拉伸性能进行了测试并对测试结果进行了分析。

**关键词:** 纤维增强复合材料; 三维机织物; 正交结构; 角联锁结构; 拉伸性能

**中图分类号:** TS156.6 **文献标识码:** A

## 0 前 言

纤维增强复合材料的应用日趋广泛。在各类型的纤维增强复合材料中, 3D 机织物增强是一种非常有效的增强形式, 其整体化的纤维增强构件赋予材料极佳的层间剪切强度、较好的抗冲击损伤性、较高的比强度与比模量和适宜的韧性。目前, 3D 机织物增强复合材料的制造加工技术与性能研究已越来越引起纺织界和复合材料界人士的重视。

## 1 3D 机织物板材预制件的织物规格设计

### 1.1 玻璃纤维的选用及性能测试

选用杭州玻璃集团公司生产的规格为 2400tex 的无碱玻璃纤维, 经试验测得其密度为  $2.54\text{g}/\text{cm}^3$ , 一次拉伸断裂强度为  $32.88\text{cN}/\text{tex}$ , 一次拉伸断裂伸长率为  $1.38\%$ , 杨氏模量为  $2198.95\text{cN}/\text{tex}$ , 其拉伸曲线近似一直线, 无明显屈服点。

### 1.2 织物规格设计

3D 机织物板材预制件的结构形式有正交结构 (其经向截面图如图 1 (a))、角联锁结构两种, 而角联锁结构依纱线走向的不同又可分为多种, 图 1 (b)、图 1 (c) (均为经向截面图) 为有代表性的两种。为便于以后叙述, 将图 1 (c) 结构称角联锁结构 1, 图 1 (b) 结构称角联锁结构 2。

按文献 [1、2] 报道的织制方法, 在小样机上可织出上述三种结构的 3D 机织物, 织物规格如下:

正交结构: 织物层数 4 层, 单层经纱密度 5 根/cm, 纬纱密度 2 根/cm, 经向截面图如图 1 (a);

角联锁结构 1: 织物层数 4 层, 单层经纱密度 5 根/cm, 纬纱密度 1 根/cm, 经向截面图如图 1 (c);

收稿日期: 2002-04-11

基金项目: 浙江省科技厅国际合作项目 (011106228)

作者简介: 汪蔚, (1972—), 男, 安徽黄山人, 硕士, 主要从事纺织技术和复合材料研究。

角联锁结构 2: 织物层数 5 层, 单层经纱密度 4 根/cm, 纬纱密度 1 根/cm, 经向截面图如图 1 (b)。

上述三种规格的 3D 机织物基本组织均为平纹, 所用经纱、纬纱及垂纱均为 2400tex 的玻璃纤维。织物厚度为 6mm。

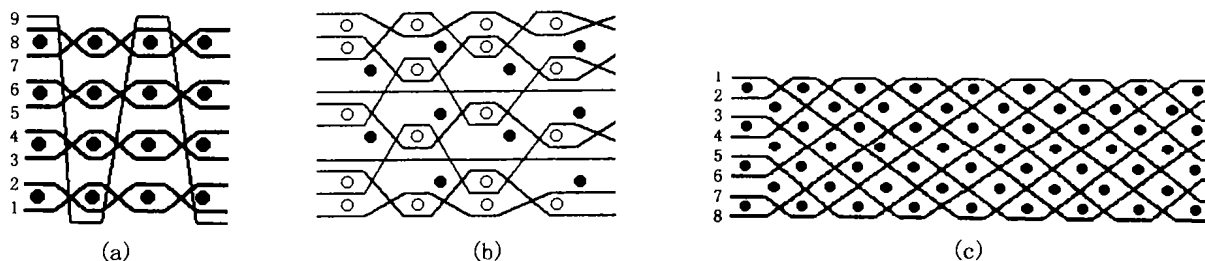


图 1 3D 机织物板材预制件结构图

## 2 复合材料板材的成型工艺

### 2.1 树脂基体选择

选用的树脂基体为江苏吴江学联树脂厂生产的雪鹅牌 6101 环氧树脂, 并选用浙江永在化工有限公司生产的永在牌 650 聚酰胺作固化剂, 此树脂类固化剂能在常温常压下与环氧树脂中的环氧基、羟基进行反应, 发生交联而固化。同时由于该树脂本身具有一定的特性, 故使用它作为环氧树脂的固化剂, 不仅可起到固化作用, 对环氧树脂还有改性作用 (如增韧)。

### 2.2 树脂胶液配制

胶液配方: 6101 环氧树脂与 650 聚酰胺的质量比为 1:0.8, 没使用填充剂, 采用甲苯作稀释剂以调节树脂胶液的粘度, 胶液粘度范围控制在 0.2~0.8Pa·s 之间, 以满足手糊成型的工艺要求。

### 2.3 手糊成型操作

实验采用手糊成型工艺, 选用不锈钢模具, 其形状及尺寸如图 2 所示, 选用液体石蜡作脱模剂, 按手糊成型工艺要求操作, 在 3D 织物涂上胶液后将模具盖板盖上并在台钳上加压, 如此反复 3~5 次, 以使树脂胶液充分渗透到 3D 织物内部。树脂胶液的固化温度及时间为:

温度 (°C): 20~25, 40~45, 70~100;

时间 (h): 24~36, 8~10, 3~5。

树脂胶液完全固化后脱模, 脱模后的复合材料板材至少在常温下放置 1 周, 使材料的力学性能稳定, 然后进行性能测试。

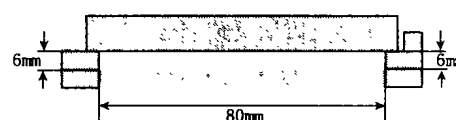


图 2 复合材料板材的成型模具

此外, 采用上述工艺, 以单层玻璃纤维布为原料, 糊制了部分复合材料板对比试样, 用以与 3D 机织物复合材料板材进行性能比较。单层玻璃纤维布对比试样的经纬纱规格均为 2400tex, 基本组织为平纹, 经密为 2 根/cm, 纬密为 1 根/cm, 织物数 10 层。为便于以后叙述, 将用单层玻璃纤维布叠合起来的复合材料板材称层合板。

表 1 各结构复合材料板材的纤维体积比

### 3 各种结构复合材料板材的纤维体积比

由织物结构可计算出上述各种结构复合材料板材的经、纬纱纤维体积以及总的纤维体积比 (忽略织物中纱线的屈曲及压缩), 其结果如表 1, 同时各试样的实测密度也列在表 1 中。

结构类型	正交结构	角联锁结构 1	角联锁结构 2	层合板
经纱体积比 (%)	31.5	31.5	31.5	31.5
纬纱体积比 (%)	12.5	11.0	11.0	15.8
垂纱体积比 (%)	3.94			
纤维体积比 (%)	47.94	42.5	42.5	47.3
树脂基体体积比 (%)	52.06	57.5	57.5	52.7
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.737	1.722	1.716	1.793

#### 4 复合材料板的拉伸性能测试结果与分析

复合材料板的拉伸性能测试<sup>[5]</sup>均按材料的纵向(经向)测定。采用 CSS-1110 型电子万能材料试验机, 测量复合材料板的一次拉伸断裂强度, 并用逐级加载法测得杨氏模量。试样尺寸如图 3, 强度和杨氏模量的测试结果见图 4。

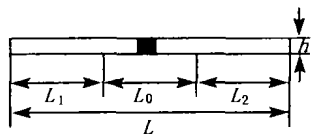
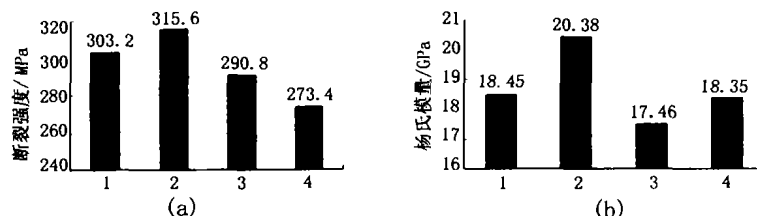


图 3 复合材料板拉伸性能测试试样

注:  $L = 150\text{mm}$ ;  $L_0 = L_1 = L_2 = 50\text{mm}$ ;

$h = 6\text{mm}$ ; 试样宽度 15mm



1. 层合板, 2. 正交结构板, 3. 角联锁结构 1 板, 4. 角联锁结构 2 板

图 4 不同结构复合板材的断裂强度、杨氏模量比较

由图 4 可知, 在不同结构的复合材料板材中, 正交结构板的断裂强度与杨氏模量最大, 这是因为正交结构板的经纱屈曲程度较小且垂纱对强度及模量有贡献, 角联锁结构 2 板材的强度最低, 这是因为该结构的经纱屈曲程度不一致, 材料受拉伸时, 纤维的受力不均匀。角联锁结构 1 板的杨氏模量最低, 这是因为该结构的经纱屈曲程度最大。

复合材料板材的拉伸破坏断口形式如图 5 所示, 从图 5 可见, 断口呈不整齐状, 表明在拉伸破坏过程中, 存在纤维受力不均的现象而使纤维不同时断裂。

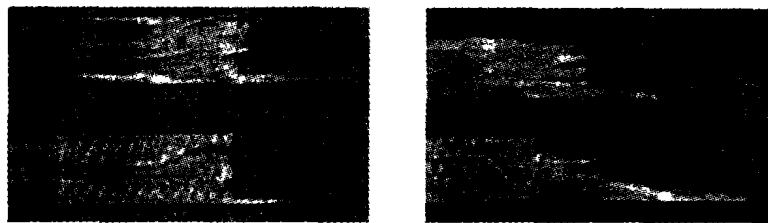


图 5 复合材料板材的拉伸断裂断口形状实物图

#### 5 结 论

研究结果表明, 采用正交结构的织物制成的复合材料板材, 能获得最大的拉伸断裂强度和杨氏模量。在实际应用中, 可视不同的要求, 加以选择。

#### 参考文献:

- [1] 汪蔚, 祝成炎. 三维机织物的组织结构与设计 [J]. 浙江工程学院学报, 2001, 18 (4): 197—200.
- [2] Chou S, Chen HE. The weaving methods of three-dimensional fabrics of advanced composite materials [J]. Composite Structures, 1995, 33: 150—172.
- [3] 福甜博, 边吾一. 复合材料的力学序说 [M]. 东京: 古今书院, 1989.
- [4] 福甜博. 复合材料学入门 [M]. 东京: 大月书店, 1986.
- [5] 邓承仪, 成培江. 工程材料力学实验 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1997. 101—105.

## The Manufacture and the Tensile Properties of Glass Fibre 3-D Fabric Reinforced Composite Laminates

WANG Wei<sup>1</sup>, ZHU Cheng-yan<sup>2</sup>

(1. Garment and Arts Department, College of Jiaxing, Zhejiang Jiaxing 314000 China;

2. Zhejiang Institute of Science and Technology, Hangzhou 310033 China)

**Abstract:** Three structures of 3-D fabrics are successfully woven with glass fibre and the 3-D fabric reinforced composite laminates are manufactured by hand-work using 6101 epoxy as the matrix and using 650 polyamide as the curing agent in this paper. the tensile strength of the composite laminates is tested and analyzed. It is shown that the composite laminate reinforced with the 3-D orthogonal structure fabric can result in largest tensile strength and Young's Modulus.

**Key words:** Fibre reinforced composites; 3-D fabric; Orthogonal structure; Angular interlocking structure; Tensile strength

(责任编辑: 张祖尧)